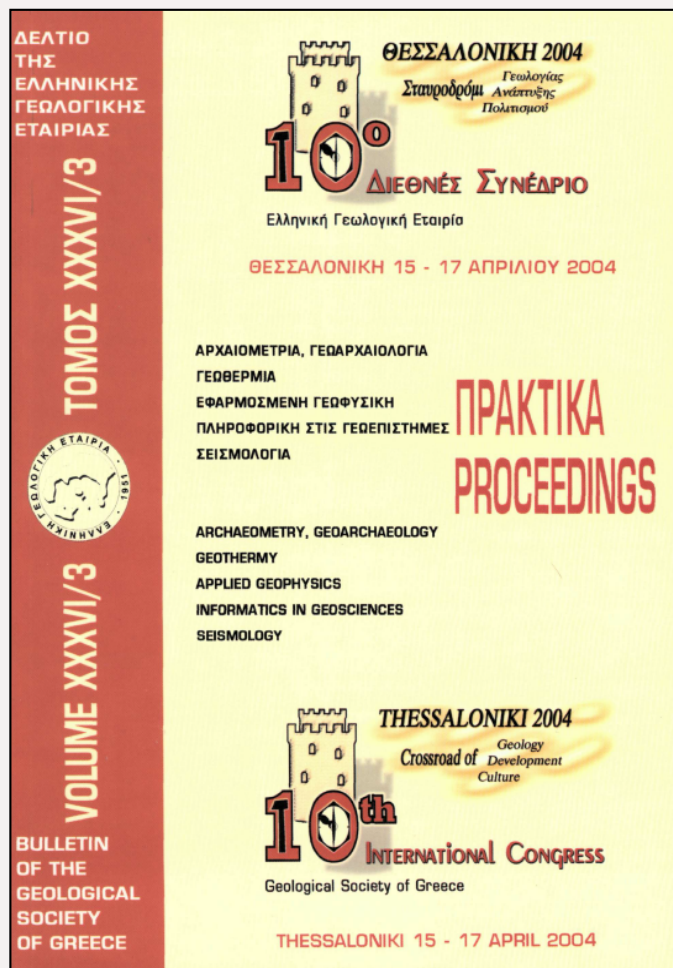


Bulletin of the Geological Society of Greece

Vol. 36, 2004



STUDY ON THE EXPLOITATION POSSIBILITY OF THE THERMA-NIGRITA GEOTHERMAL FIELD (PREFECTURE OF SERRES)

| | |
|--------------|---|
| Μπιρμπίλη Μ. | Section of Earth Materials, Department of Geology, University of Patras |
| Χρηστάνης Κ. | Section of Earth Materials, Department of Geology, University of Patras |
| Λαμπράκης Ν. | Section of Applied Geology and Geophysics, Department of Geology, University of Patras |
| Καρύτσας Κ. | Geothermy Section, Center of Renewable Energy Sources |

<https://doi.org/10.12681/bgsg.16461>

Copyright © 2018 M. Birbili, K. Christanis, N. Labrakis, K. Karytsas



To cite this article:

Μπιρμπίλη, Μ., Χρηστάνης, Κ., Λαμπράκης, Ν., & Καρύτσας, Κ. (2004). STUDY ON THE EXPLOITATION POSSIBILITY OF THE THERMA-NIGRITA GEOTHERMAL FIELD (PREFECTURE OF SERRES). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(3), 1182-1191. doi:<https://doi.org/10.12681/bgsg.16461>

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΘΕΡΜΩΝ ΝΙΓΡΙΤΑΣ (Ν. ΣΕΡΡΩΝ)

Μπιρμπίλη Μ.¹, Χρηστάνης Κ.¹, Λαμπράκης Ν.² και Καρύτσας Κ.³

¹ Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500 Ρίο-Πάτρα, birbili@hotmail.com, christan@upatras.gr

² Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας-Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500 Ρίο-Πάτρα, lambarki@upatras.gr

³ Τομέας Γεωθερμίας, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 19009 Πικέρμι Αττικής, kkari@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να αξιολογηθεί το δυναμικό του γεωθερμικού πεδίου Θερμών και να διερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησής του. Για το σκοπό αυτό έγινε δειγματοληψία από έξι γεωθερμικές γεωτρήσεις και δυο γεωτρήσεις ψυχρού νερού της περιοχής. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στην ύπαιθρο, καθώς και εργαστηριακοί προσδιορισμοί, κατά τους οποίους εφαρμόστηκαν κλασικές και σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης. Διαπιστώθηκε ότι οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών γεωτρήσεων κυμαίνονται από 38,5-64°C και οι παροχές τους από 40-70 m³/h, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πεδίο είναι καταρχήν αξιοποιήσιμο. Λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων As και Li που μετρήθηκαν στα ρευστά, κρίνεται απαραίτητη η επανεισαγωγή τους στον ταμειευτήρα μετά τη χρήση τους.

Για την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου προτείνεται η εφαρμογή τηλεκλιματισμού, που περιλαμβάνει θέρμανση και ψύξη τμήματος του πολεοδομικού συγκροτήματος Νιγρίτας με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας, σε συνδυασμό με τη θέρμανση θερμοκηπίων. Οι εφαρμογές αυτές τοποθετούνται σε σειρά, ώστε να εξοικονομείται ενέργεια και να επιτυγχάνεται μείωση του κόστους κατασκευής. Το κόστος παραγωγής της ενέργειας των παραπάνω εφαρμογών υπολογίζεται συνολικά σε 0,0226 ευρώ ανά kWh. Είναι φανερό ότι οι προτεινόμενες εφαρμογές πλεονεκτούν οικονομικά έναντι των συμβατικών καυσίμων και επιπλέον παρέχουν σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος, καθώς αποφεύγεται η εκπομπή στην ατμόσφαιρα σημαντικών ποσοτήτων CO₂ (> 8.000 τόνοι ετησίως), που θα εκπέμπονταν σε περίπτωση χρήσης πετρελαίου για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γεωθερμικό πεδίο Θερμών Νιγρίτας είναι ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας και αποτελεί το πρώτο από τα πεδία της λεκάνης Στρυμόνα του νομού Σερρών που ερευνήθηκε. Σύμφωνα με έκθεσή του Ι.Γ.Μ.Ε. (Καρυδάκης 1983) το γεωθερμικό πεδίο κρίθηκε από τον ίδιο ερευνητή οικονομικά αξιοποιήσιμο για άμεσες χρήσεις (θερμοκήπια, θέρμανση κατοικιών, ιχθυοκαλλιέργειες κ.ά.). Οι Κυριακίδης και Τσόκας (1987) μελέτησαν την προέλευση και πορεία των γεωθερμικών ρευστών με τη μέθοδο των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων. Οι Δημόπουλος κ.ά. (1987) και οι Κολλιαδήμου και Γαλανίδης (1988) μελέτησαν τις γεωλογικές, υδρολογικές και γεωθερμικές συνθήκες της περιοχής των πηγών Θερμών Νιγρίτας. Οι Αρβανίτης κ.ά. (1998) πραγματοποίησαν γεωχημική και θερμομετρική έρευνα στην περιοχή.

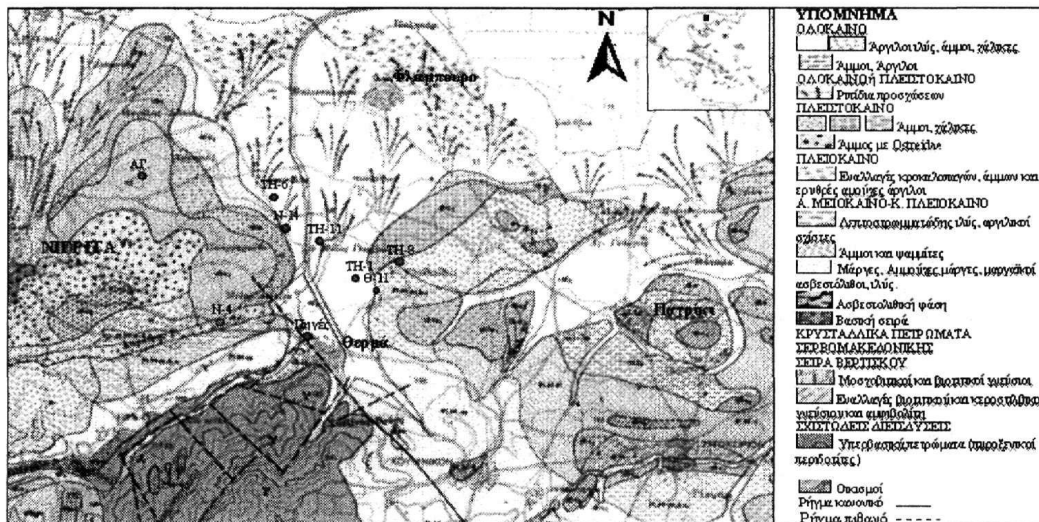
Οι υφιστάμενες χρήσεις του γεωθερμικού πεδίου αφορούν κυρίως σε αγροτικές χρήσεις και συγκεκριμένα σε 68 στρέμματα θερμοκηπίων, στα οποία καλλιεργούνται κηπευτικά, φύκια (*Spirulina*), λουλούδια, καθώς και σε 30 στρέμματα θέρμανσης εδάφους για καλλιέργεια σπαραγγιών. Επίσης υπάρχουν ιαματικά λουτρά του ΕΟΤ, τα οποία λειτουργούν μόνο κατά τη θερινή περίοδο.

Στην Ελλάδα οι πιο διαδεδομένες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι οι θερμοκηπιακές εφαρμογές και οι εφαρμογές θέρμανσης εδάφους, των οποίων η ολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 29 MW_{th} (Mendrinou et al. 2003a). Όσον αφορά στις αντλίες θερμότητας η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα σήμερα είναι 2 MW_{th} (Fytikas et al. 2000, Mendrinou et al. 2003a).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης του πεδίου Θερμών Νιγρίτας με την εφαρμογή σε σειρά θέρμανσης θερμοκηπίων και τηλεκλιματισμού (θέρμανση-ψύξη) τμήματος του πολεοδομικού συγκροτήματος Νιγρίτας με χρήση αντλιών θερμότητας, μελετάται το διάγραμμα ροής της εκμετάλλευσης και υπολογίζεται το κόστος παραγωγής ενέργειας των προτεινόμενων εφαρμογών.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η ευρύτερη περιοχή των Θερμών Νιγρίτας τοποθετείται στα δυτικά περιθώρια του βυθίσματος του Στρυμόνα και συγκεκριμένα 20 km νότια της πόλης των Σερρών. Γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα και συγκεκριμένα στο κρυσταλλοσχιτώδες σύστημα Βερτίσκου, το οποίο αποτελεί και το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Πάνω στο υπόβαθρο έχουν αποτεθεί Νεογενή ιζήματα, που παρουσιάζουν σχεδόν παντού ένα κροκαλοπαγές βάσης, το οποίο αποτελεί τον κύριο ορίζοντα κυκλοφορίας γεωθερμικών ρευστών (Καρυδάκης 1983). Ακολουθούν Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές λιμναίες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις.



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης Θερμών Νιγρίτας-θέσεις των γεωτρήσεων (ΙΓΜΕ, 1970, τροποποιημένος).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη μελέτη του γεωθερμικού πεδίου Θερμών Νιγρίτας έγινε δειγματοληψία νερού από 6 γεωθερμικές γεωτρήσεις (ΤΗ-6, ΤΗ-11, ΤΗ-8, ΤΗ-1, Θ-11, Ν-14) και από δύο γεωτρήσεις ψυχρού νερού (ΑΓ, Ν-4). Το βάθος, στο οποίο οι γεωτρήσεις αυτές συναντούν τον ορίζοντα κυκλοφορίας γεωθερμικών ρευστών, είναι: η ΤΗ-6 στα 265-300 m, η ΤΗ-11 στα 235-285 m, η ΤΗ-8 στα 155-200 m, η ΤΗ-1 στα 115-135 m, η Θ-11 στα 120-150 m, η Ν-14 στα 180 m. Οι γεωτρήσεις ΑΓ και Ν-4 συναντούν τον υδροφόρο ορίζοντα στα 200 m και 180 m, αντίστοιχα.

Κατά την υπαίθρια εργασία μετρήθηκαν η θερμοκρασία, το pH, το ηλεκτρικό δυναμικό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το CO₂ και η αλκαλικότητα. Για τους διάφορους προσδιορισμούς χρησιμοποιήθηκαν: η φασματομετρία μοριακής απορρόφησης (για τον προσδιορισμό των περιεκτικότητων SO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₂⁻, SiO₂, NO₃⁻, NH₄⁺), η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (για τον προσδιορισμό των περιεκτικότητων Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺), ενώ για τα ιχνοστοιχεία (As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Ni, Pb, Sc, Se, Te, Ti, Zn) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ICP-MS. Ακολούθησε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν, έγινε η πρόταση για την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται μόνο εκείνα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων πεδίου και εργαστηρίου, που ενδιαφέρουν άμεσα στην αξιοποίηση του πεδίου με τις προτεινόμενες εφαρμογές.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των γεωτρήσεων της περιοχής Θερμών Νιγρίτας.

| Μέτρηση | TH-6 | N-14 | TH-11 | TH-8 | TH-1 | Θ-11 | N-4 | ΑΓ |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| T (°C) | 38,5 | 42,5 | 51,5 | 62,5 | 59,0 | 62,5 | 19,0 | 18,0 |
| Q (m ³ /h) | 40 | 60 | 70 | 70 | 55 | 70 | 20 | 45 |
| pH | 6,53 | 6,53 | 6,61 | 6,79 | 6,81 | 6,89 | 7,49 | 7,19 |
| CO ₂ (mg/l) | 616 | 686 | 588 | 432 | 378 | 394 | 102 | 164 |
| TDS (mg/l) | 3000,0 | 3163,5 | 3189,1 | 3140,5 | 3333,8 | 3169,1 | 567,4 | 687,7 |
| As (ppb) | 796,51 | 855,27 | 887,51 | 831,78 | 955,94 | 806,62 | 2,09 | 3,98 |
| Li (ppb) | 699,37 | 750,28 | 882,46 | 947,07 | 852,05 | 860,62 | 12,63 | 23,55 |

Διαπιστώθηκε ότι οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών γεωτρήσεων (TH-6, TH-11, TH-8, TH-1, Θ-11, N-14) κυμαίνονται από 38,5°C (TH-6) έως 62,5°C (TH-8, Θ-11) και οι παροχές τους από 40 έως 70 m³/h. Επομένως είναι φανερό, ότι λόγω των υψηλών παροχών των γεωτρήσεων, αλλά και των ικανοποιητικών θερμοκρασιών, το γεωθερμικό πεδίο Θερμών Νιγρίτας είναι αξιοποιήσιμο.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων διαπιστώθηκε ότι τα γεωθερμικά νερά παρουσιάζουν σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) από 3.000 έως 3.335 mg/l. Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Hem (1970), τα γεωθερμικά ρευστά της περιοχής μπορούν να χαρακτηριστούν ως μέτρια αλατούχα. Τα ψυχρά ή υπόθερμα νερά παρουσιάζουν σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) από 567 έως 688 mg/l και επομένως κατατάσσονται στα γλυκά νερά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σε σύνολο διαλυμένων αλάτων πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου λόγω του ότι μπορεί να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα τόσο περιβαλλοντικής, όσο και τεχνικής φύσεως. Συγκεντρώσεις TDS μεγαλύτερες από 1920 mg/l προκαλούν πολύ σοβαρά προβλήματα στις καλλιέργειες και είναι καταστροφικά για την καρποφορία (Καλλέργης 1986).

Τα γεωθερμικά ρευστά παρουσιάζουν τιμές pH, που κυμαίνονται από 6,53 έως 6,89 και επομένως μπορούν να χαρακτηριστούν ελαφρώς όξινα έως ουδέτερα. Τα ψυχρά νερά μπορούν να χαρακτηριστούν ουδέτερα, αφού οι τιμές pH είναι 7,19 και 7,49.

Οι συγκεντρώσεις ιόντων Li⁺ κυμαίνονται από 0,6 έως περίπου 1 mg/l για τις γεωθερμικές γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις ψυχρού νερού παρουσιάζουν χαμηλές συγκεντρώσεις Li, συνήθεις για τα υπόγεια νερά. Η υψηλή συγκέντρωση του Li στα γεωθερμικά ρευστά πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την αξιοποίηση του πεδίου, καθώς ενδεχόμενη ελεύθερη απόρριψη του ρευστού μετά τη χρήση του συνεπάγεται σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ειδικά για τα οπωροφόρα δέντρα συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 0,07 mg/l μπορεί να είναι καταστροφικές (Καλλέργης 1986, Δ.Ε.Β. 2003).

Οι συγκεντρώσεις As είναι επίσης υψηλές και κυμαίνονται από 0,7 έως 1 mg/l στα γεωθερμικά ρευστά. Πρόκειται για ένα τοξικό μέταλλο, το οποίο μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον, όσο και στην ανθρώπινη υγεία σε περίπτωση πρόσληψής του μέσω της τροφικής αλυσίδας. Η ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση As για τα αρδευτικά νερά είναι 0,1 mg/l (Καλλέργης 1986). Είναι φανερό λοιπόν, πως το ρευστό των γεωθερμικών γεωτρήσεων δεν μπορεί να διατεθεί μετά την εκμετάλλευσή του ελεύθερα στο περιβάλλον, ειδικά σε μία αγροτική περιοχή, όπως είναι η Νιγρίτα, και επομένως είναι απαραίτητη η επανεισαγωγή του στον ταμιευτήρα.

5 ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΘΕΡΜΩΝ ΝΙΓΡΙΤΑΣ

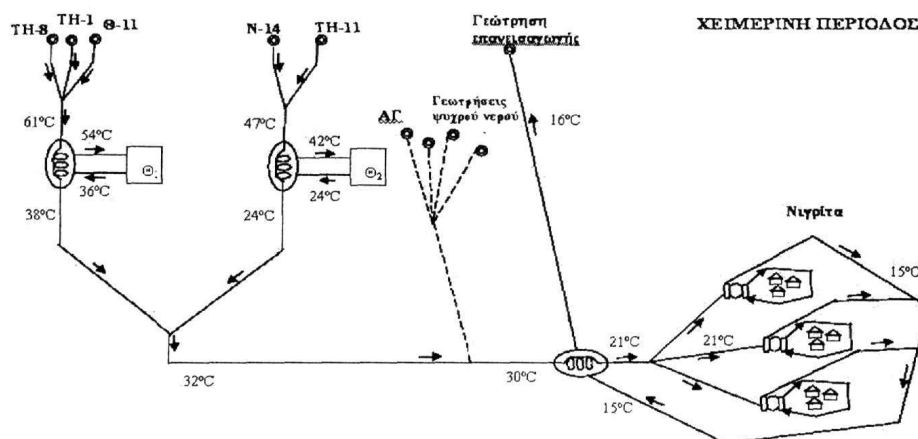
5.1 Οι προτεινόμενες εφαρμογές

Προτείνονται οι παρακάτω εφαρμογές σε σειρά:

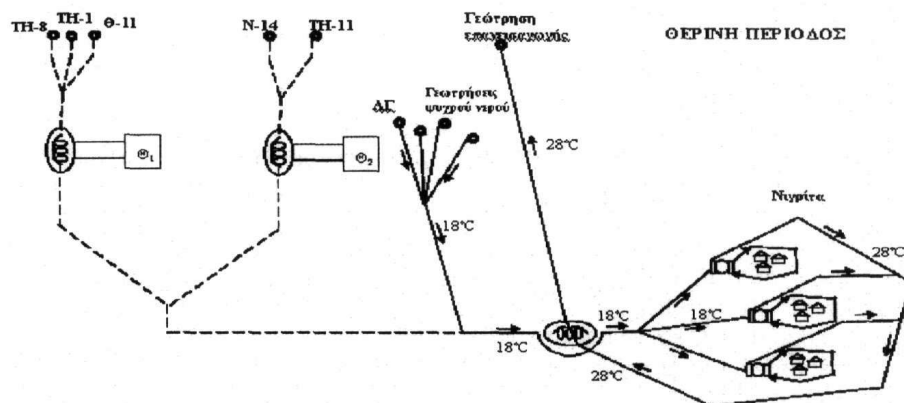
1. Θέρμανση θερμοκηπίων.

2. Τηλεκλιματισμός (θέρμανση-ψύξη) τμήματος της πόλης της Νιγρίτας με χρήση αντλιών θερμότητας.

Το αποβαλλόμενο από τον εναλλάκτη θερμότητας γεωθερμικό ρευστό θα μεταφέρεται σε απόσταση 4 km, όπου θα επανεισάγεται στον ταμιευτήρα απ' όπου προήλθε, σε θερμοκρασία περίπου 16°C. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η αειφορία του συστήματος και αποφεύγονται οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την απόρριψη του γεωθερμικού ρευστού στο περιβάλλον.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής του δικτύου των προτεινόμενων εφαρμογών κατά τη χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής του δικτύου των προτεινόμενων εφαρμογών κατά τη θερινή περίοδο.

Για την ψύξη κατά τη θερινή περίοδο, πρόκειται να χρησιμοποιηθεί νερό από 5 αρδευτικές γεωτρήσεις θερμοκρασίας 18°C (Σχ. 3). Το νερό των γεωτρήσεων αυτών θα συλλέγεται και στη συνέχεια θα μεταφέρεται στην πόλη της Νιγρίτας μέσω του ίδιου δικτύου με το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο κατά τους θερινούς μήνες δεν θα χρησιμοποιείται. Λόγω του ότι η χημική σύσταση του νερού των αρδευτικών γεωτρήσεων είναι κατάλληλη, ώστε να επιτρέπει την απευθείας χρήση του, δεν κρίνεται σκόπιμη η χρήση εναλλάκτη θερμότητας και έτσι το νερό διοχετεύεται με θερμοκρασία 18°C απευθείας στις αντλίες θερμότητας. Το νερό που θα αποβάλλεται από τις αντλίες θερμότητας, θερμοκρασίας 28°C, θα συλλέγεται και θα διοχετεύεται στη γεώτρηση επανεισαγωγής και από εκεί στο γεωθερμικό ταμειυτήρα, στον οποίο θα εισάγεται με θερμοκρασία περίπου 28°C. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται περισσότερο η αειφορία του συστήματος και επιπλέον με την επανεισαγωγή νερού μεγαλύτερης θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες μειώνεται η πιθανότητα πτώσης της θερμοκρασίας του γεωθερμικού ρευστού του ταμειυτήρα λόγω της επανεισαγωγής ρευστού πολύ χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτήν του αντλούμενου.

5.2 Η διαστασιολόγηση των προτεινόμενων εφαρμογών

5.2.1 Θερμοκήπια

Η πρώτη εφαρμογή αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίου (Θ1), που βρίσκεται στην περιοχή Θερμών Νιγρίτας. Το γεωθερμικό ρευστό που χρησιμοποιείται, παράγεται από τρεις γεωτρήσεις (TH-8, TH-1, Θ-11), οι οποίες παρουσιάζουν αρτεσιανισμό και βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το θερμοκήπιο. Το γεωθερμικό ρευστό που θα λαμβάνεται από τις γεωτρήσεις, έχει συνολική παροχή 195 m³/h και μέση θερμοκρασία 61,7°C. Στη συνέχεια διοχετεύεται στον εναλλάκτη θερμότητας του θερμοκηπίου (πρωτεύον κύκλωμα) με θερμοκρασία 61°C και υπολογίζεται ότι θα αποβάλλεται από αυτόν με θερμοκρασία 38°C, αποδίδοντας τη θερμότητα στο θερμοκήπιο. Οι εναλλαγές θερμότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Οι τεχνικές προδιαγραφές της θέρμανσης του 1^{ου} θερμοκηπίου.

| Πρωτεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (γεωθερμικό κύκλωμα): | |
|--|------------------------|
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 61°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 38°C |
| Παροχή γεωθερμικού ρευστού | 195 m ³ /h |
| Εναλλασσόμενη θερμότητα | 4.954 kW _{th} |
| Δευτερεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (κύκλωμα καθαρού νερού): | |
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 36°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 54°C |
| Παροχή γλυκού νερού | 237 m ³ /h |
| Αποδιδόμενη θερμότητα | 4.707 kW _{th} |

Οι εναλλαγές θερμότητας και η ισχύς που αποδίδεται στο χώρο υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \Delta T \cdot \gamma \cdot a \quad (1)$$

όπου \dot{Q} = θερμική ισχύς (θερμότητα), \dot{V} = παροχή, ΔT = διαφορά θερμοκρασίας, γ = το γινόμενο της ειδικής θερμοχωρητικότητας του ρευστού (SHC: specific heat capacity) και της πυκνότητάς του (d) και a = απόδοση του εναλλάκτη. Υπολογίστηκε ότι η αποδιδόμενη ισχύς στο θερμοκήπιο θα είναι 4.707 kW_{th}.

Η ανάγκη σε θερμότητα (q) ενός θερμοκηπίου υπολογίζεται από τον τύπο (Nikita-Martzopoulou 2002, Karytsas et al. 2003):

$$q = (A_c \cdot U + 1/2 \cdot V \cdot n) \cdot 1,30 \cdot \Delta T_{\theta} \quad (2)$$

όπου A_c = η συνολική εξωτερική επιφάνεια, U = ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για διπλό πλαστικό, V = ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου, n = ο αριθμός των εξαεριστήρων που χρησιμοποιούνται ανά ώρα, 1,30 = συντελεστής που αφορά στη συνεισφορά της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία θεωρείται 30% (τα στοιχεία αυτά αφορούν τη θερμική απόδοση του θερμοκηπίου) και ΔT_{θ} = η αποδιδόμενη στο θερμοκήπιο διαφορά θερμοκρασίας.

Η ανάγκη θερμότητας ανά στρέμμα θερμοκηπίου για το Νομό Σερρών, θεωρώντας παράγοντα ασφαλείας 10%, και με τη χρήση πετρελαίου κατά 20% (back up) υπολογίζεται σε 203,2 kW_e. Επομένως επαρκεί για **23 στρέμματα θερμοκηπίου**. Διαπιστώθηκε ότι μέχρι τη θερμοκρασία -4°C, τα 23 στρέμματα θερμοκηπίου μπορούν να θερμανθούν πλήρως με γεωθερμική ενέργεια.

Η δεύτερη εφαρμογή αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίου (Θ2), που βρίσκεται στην περιοχή Θερμών Νιγρίτας. Το γεωθερμικό ρευστό που χρησιμοποιείται, παράγεται από δύο γεωτρήσεις (N-14, TH-11), οι οποίες παρουσιάζουν αρτεσιανισμό και απέχουν μικρή απόσταση από το θερμοκήπιο. Το γεωθερμικό ρευστό που λαμβάνεται από τις γεωτρήσεις, συνολικής παροχής 130 m³/h και μέσης θερμοκρασίας 47,3°C, διοχετεύεται στον εναλλάκτη του θερμοκηπίου (πρωτεύον κύκλωμα) με θερμοκρασία 47°C και αποβάλλεται από αυτόν με θερμοκρασία 24°C. Οι εναλλαγές θερμότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Οι τεχνικές προδιαγραφές της θέρμανσης του 2^{ου} θερμοκηπίου.

| Πρωτεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (γεωθερμικό κύκλωμα): | |
|---|-------------------------|
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 47°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 24°C |
| Παροχή γεωθερμικού ρευστού | 130 m ³ /h |
| Εναλλασσόμενη θερμότητα | 3.303 kW _{th} |
| Δευτερεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (κύκλωμα καθαρού νερού): | |
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 24°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 42°C |
| Παροχή γλυκού νερού | 157,8 m ³ /h |
| Αποδιδόμενη θερμότητα | 3.138 kW _{th} |

Υπολογίστηκε (τύπος 1) ότι η αποδιδόμενη ισχύς στο θερμοκήπιο θα είναι 3.138 kW_{th}, η οποία επαρκεί για **15,5 στρέμματα θερμοκηπίου**. Διαπιστώθηκε ότι μέχρι τη θερμοκρασία -4°C, τα 15,5 στρέμματα θερμοκηπίου μπορούν να θερμανθούν πλήρως με τη γεωθερμική ενέργεια.

5.2.2 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Η εφαρμογή αυτή αφορά στη θέρμανση και την ψύξη τμήματος της πόλης της Νιγρίτας με χρήση αντλιών θερμότητας.

Όσον αφορά στην εφαρμογή της θέρμανσης, το γεωθερμικό ρευστό που αποβάλλεται μετά τη χρήση του από τα θερμοκήπια, τα οποία απέχουν 1 km μεταξύ τους, συλλέγεται και με μέση θερμοκρασία 32,1°C και συνολική παροχή 325 m³/h, διοχετεύεται σε δίκτυο ενταφιασμένων σωληνώσεων, μέσω του οποίου μεταφέρεται σε απόσταση 4 km στην πόλη της Νιγρίτας. Υπολογίζεται ότι θα υπάρχουν απώλειες περίπου 2°C λόγω της μεταφοράς (0,5°C ανά km) και ότι τελικά το γεωθερμικό ρευστό θα εισέλθει στον κεντρικό εναλλάκτη της Νιγρίτας με θερμοκρασία 30°C και θα αποβάλλεται με θερμοκρασία 16°C (πρωτεύον κύκλωμα). Η θερμότητα αυτή θα αποδίδεται και θα θερμαίνει το καθαρό νερό που κυκλοφορεί στο δευτερεύον κύκλωμα του εναλλάκτη, που ουσιαστικά είναι το κλειστό δίκτυο της πόλης, από το οποίο τροφοδοτούνται οι αντλίες θερμότητας. Το νερό

που θα αποβάλλεται από τον εναλλάκτη θα μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων στη γεώτρηση επανεισαγωγής (Σχ. 2). Οι εναλλαγές θερμότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής θέρμανσης του κεντρικού εναλλάκτη της Νιγρίτας.

| Κεντρικός εναλλάκτης | |
|---|-------------------------|
| Πρωτεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (γεωθερμικό κύκλωμα): | |
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 30°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 16°C |
| Παροχή γεωθερμικού ρευστού | 325 m ³ /h |
| Εναλλασσόμενη θερμότητα | 5.026 kW _{th} |
| Δευτερεύον κύκλωμα εναλλάκτη θερμότητας (κύκλωμα καθαρού νερού): | |
| Θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη | 15°C |
| Θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη | 21°C |
| Παροχή γλυκού νερού | 720,4 m ³ /h |
| Αποδιδόμενη θερμότητα | 4.775 kW _{th} |

Η εναλλασσόμενη και αποδιδόμενη θερμότητα υπολογίζονται από τον τύπο (1). Το νερό του δευτερεύοντος κυκλώματος (κύκλωμα καθαρού νερού) του γεωθερμικού εναλλάκτη, που αποτελεί το κλειστό κύκλωμα του δικτύου της πόλης, θα διοχετεύεται προς τις αντλίες θερμότητας με θερμοκρασία 21°C και συνολική παροχή 720,4 m³/h. Σε κάθε αντλία θερμότητας θα εισέρχεται νερό θερμοκρασίας 21°C, το οποίο θα αποβάλλεται με θερμοκρασία 15°C, αποδίδοντας τη θερμότητα στο χώρο. Το νερό, που θα αποβάλλεται από τις αντλίες θερμότητας, θα συλλέγεται και θα επαναδιοχετεύεται στον εναλλάκτη. Οι εναλλαγές θερμότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής τηλεθέρμανσης με αντλίες θερμότητας.

| | |
|---|-------------------------|
| Θερμοκρασία εισόδου νερού στον εξατμιστή | 21°C |
| Θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εξατμιστή | 15°C |
| Θερμοκρασία εισόδου δευτερεύοντος στον συμπυκνωτή | 39°C |
| Θερμοκρασία εξόδου δευτερεύοντος από τον συμπυκνωτή | 54°C |
| COP αντλιών θερμότητας | 4 |
| Συνολική παροχή νερού στις αντλίες θερμότητας | 720,4 m ³ /h |
| Εναλλασσόμενη θερμότητα | 4.775 kW _{th} |
| Ισχύς του συμπιεστή (ηλεκτρισμός) | 1592 kW _e |
| Αποδιδόμενη θερμότητα | 6.367 kW _{th} |

Η ισχύς που αποδίδεται στο χώρο (γεωθερμική συν ηλεκτρική ισχύς) για τη θέρμανση με αντλίες θερμότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\dot{Q}_x = \dot{Q}_y + \frac{\dot{Q}_y}{COP - 1} \quad (3)$$

όπου \dot{Q}_x = ισχύς που αποδίδεται στο χώρο, \dot{Q}_y = παρεχόμενη γεωθερμική ισχύς, COP= συντελεστής απόδοσης αντλίας θερμότητας (COP=4). Υπολογίζεται ότι η αποδιδόμενη στο χώρο θερμότητα είναι 6.367 kW_{th}. Για τη θέρμανση ενός σπιτιού των 100 m² χρειάζονται 15.000 kcal/h. Επομένως υπάρχει η δυνατότητα θέρμανσης **365** σπιτιών των 100 m².

Όσον αφορά στην ψύξη κατοικιών με χρήση των αντλιών θερμότητας κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν γεωτρήσεις ψυχρού νερού της περιοχής θερμοκρασίας 18°C και συνολικής παροχής 205 m³/h, προκειμένου να ψυχθεί ο ίδιος αριθμός κατοικιών.

Το νερό των γεωτρήσεων αυτών θα συλλέγεται και θα μεταφέρεται στην πόλη της Νιγρίτας μέσω του ίδιου δικτύου, με το οποίο κατά τη διάρκεια του χειμώνα μεταφερόταν το γεωθερμικό ρευστό. Λόγω της σύστασης του νερού, η οποία επιτρέπει την απευθείας χρήση του, ο εναλλάκτης θερμότητας παρακάμπτεται και το νερό διοχετεύεται απευθείας στις αντλίες θερμότητας. Σε κάθε αντλία θερμότητας, θα εισέρχεται νερό θερμοκρασίας 18°C, το οποίο θα αποβάλλεται με θερμο-

κρασία 28°C, απάγοντας έτσι θερμότητα από το χώρο. Το νερό, που θα αποβάλλεται από τις αντλίες θερμότητας, θα συλλέγεται και στη συνέχεια θα παροχετεύεται στη γεώτρηση επανεισαγωγής και θα εισάγεται στον ταμιευτήρα. Οι εναλλαγές θερμότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής τηλεθέρμανσης με αντλίες θερμότητας.

| | |
|--|--------------------------|
| Θερμοκρασία εισόδου νερού στον συμπυκνωτή | 18°C |
| Θερμοκρασία εξόδου νερού από τον συμπυκνωτή | 28°C |
| Θερμοκρασία εισόδου δευτερεύοντος στον εξατμιστή | 6°C |
| Θερμοκρασία εξόδου δευτερεύοντος από τον εξατμιστή | 12°C |
| COP αντλιών θερμότητας για την ψύξη | 3 |
| Παροχή γεωθερμικού ρευστού | 205 m ³ /h |
| Αποδιδόμενη στο έδαφος θερμότητα | 2.264,5 kW _{th} |
| Ισχύς του συμπιεστή (ηλεκτρισμός) | 566 kW _e |
| Αποδιδόμενο ψυκτικό φορτίο | 1.698,4 kW _{th} |

Η ισχύς που αποδίδεται στο χώρο (γεωθερμική μείον ηλεκτρική ισχύς) για την περίπτωση της ψύξης με αντλίες θερμότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\dot{Q}_x = \dot{Q}_y - \frac{\dot{Q}_r}{COP + 1} \quad (4)$$

Υπολογίζεται ότι η αποδιδόμενη στο χώρο θερμότητα είναι 1.698,4 kW_{th}. Για την ψύξη ενός σπιτιού των 100 m² χρειάζονται 4.000 kcal/h, δεδομένου ότι συνήθως ψύχεται μόνο το σαλόνι και η τραπεζαρία και πιθανώς ένα ακόμη δωμάτιο, δηλαδή χώροι που καταλαμβάνουν το 80% του σπιτιού). Επομένως υπάρχει η δυνατότητα ψύξης **365** σπιτιών των 100 m².

5.2.3 Κόστος Παραγωγής Ενέργειας

Το συνολικό κόστος κατασκευής του δικτύου των εφαρμογών αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου υπολογίστηκε **2.010.473 Ευρώ**. Στον υπολογισμό του έχουν συμπεριληφθεί οι σωληνώσεις μαζί με την εκσκαφή, οι εναλλάκτες θερμότητας, οι αντλίες θερμότητας, οι αντλίες-κυκλοφορητές, καθώς και διάφορα άλλα έξοδα. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν ληφθεί από προσφορές προμηθευτών.

Το κόστος παραγωγής ενέργειας των εφαρμογών που προτείνονται για την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας Θερμών Νιγρίτας, παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 6.

Στον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ενέργειας έχουν συμπεριληφθεί το κόστος κατασκευής καταμερισμένο ανά έτος, η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η συντήρηση του εξοπλισμού, οι μισθοί του προσωπικού, η άδεια χρήσης του γεωθερμικού ρευστού, διάφορες άλλες δαπάνες, καθώς και η απόσβεση του κεφαλαίου, το οποίο θεωρείται ότι προέρχεται κατά το ήμισυ από επιδότηση και κατά το ήμισυ από δανεισμό. Για το λόγο αυτό έχει συνυπολογισθεί και το ετήσιο τοκοχρεολύσιο αποπληρωμής δανείου για 12 έτη.

Πρόέκυψε ότι το κόστος παραγωγής ενέργειας για τη συνολική εφαρμογή είναι μόλις **0,0226 €/kWh**, γεγονός που οφείλεται στη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται λόγω του ότι οι εφαρμογές έχουν τοποθετηθεί σε σειρά. Αν γίνει σύγκριση του κόστους παραγωγής ενέργειας της προτεινόμενης εφαρμογής (0,0226 €/kWh) με τις τιμές του πετρελαίου (0,0426 €/kWh), του φυσικού αερίου (0,039 €/kWh), αλλά και του ηλεκτρικού ρεύματος (0,07 €/kWh), που θα χρησιμοποιούταν κυρίως για την εφαρμογή της ψύξης, διαπιστώνεται ότι η προτεινόμενη εφαρμογή είναι πολύ συμφέρουσα. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι στο κόστος παραγωγής ενέργειας της προτεινόμενης εφαρμογής συμπεριλαμβάνεται εξολοκλήρου η κατασκευή και η εγκατάσταση του δικτύου, ενώ οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τιμές καθαρής ενέργειας.

Ένα σημαντικό επίσης όφελος είναι και το περιβαλλοντικό, αφού αποφεύγεται η εκπομπή στην ατμόσφαιρα περισσότερων από 8000 τόνων CO₂, οι οποίοι υπολογίζεται ότι θα εκπέμπονταν αν χρησιμοποιούταν πετρέλαιο για τις εφαρμογές αυτές.

Πίνακας 6. Το κόστος παραγωγής ενέργειας των εφαρμογών.

| Εφαρμογή | Θερμοκήπιο1 | Θερμοκήπιο2 | Αντλίες θερμότητας Θέρμανση- κλιματισμός(365 κα- τοικιών) | Σύνολο |
|--|---------------|---------------|--|---------------|
| Ηλεκτρική ενέργεια (€) | 45,9 | 31,2 | 248.214,2 | 248.291,2 |
| Συντήρηση εξοπλισμού (€) | 2.059,4 | 1.841,9 | 76.527,7 | 80.428,9 |
| Προσωπικό (€) | 24.000 | 24.000 | 24.000 | 72.000 |
| Άδεια χρήσης γεωθερμικού ρευστού (€) | 13.298,2 | 8.865,5 | 18.288,6 | 40.452,3 |
| Διάφορες Δαπάνες (€) | 514,8 | 460,5 | 19.129,4 | 20.104,7 |
| Συνολικό ετήσιο κόστος παρα- γωγής (€) | 39.918,3 | 35.199,0 | 386.159,8 | 461.277,1 |
| Κόστος παραγωγής ενέργειας σε €/kWh | 0,0048 | 0,0064 | 0,0378 | 0,0193 |
| Αποπληρωμή δανείου(€) | 2.065,6 | 1.847,7 | 76.749,7 | 80.663,0 |
| Συνολικό ετήσιο κόστος παρα- γωγής συμπεριλαμβανομένου του δανεισμού (€) | 41.983,9 | 37.046,6 | 462.909,5 | 541.940,1 |
| Κόστος παραγωγής ενέργειας σε €/kWh συμπεριλαμβανομέ- νου του δανεισμού | 0,0051 | 0,0067 | 0,0453 | 0,0226 |
| Ενέργεια που υποκαθίσταται (kWh) | 8.246.664 | 5.497.776 | 10.216.569 | 23.961.009 |
| Τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου | 886,5 | 591,0 | 1098,4 | 2575,9 |
| CO ₂ που δεν εκπέμπεται σε τό- νους | 2.837,0 | 1.891,3 | 3.514,6 | 8.242,9 |

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης είναι:

1. Διαπιστώθηκε ότι είναι εφικτή η αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου και προτείνεται η εφαρμογή σε σειρά θέρμανσης θερμοκηπίων και τηλεκλιματισμού (θέρμανσης-ψύξης) τμήματος της πόλης της Νιγρίτας.
2. Λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων αρσενικού και λιθίου στο γεωθερμικό ρευστό κρίνεται απαραίτητη η επανεισαγωγή του στον ταμιευτήρα.
3. Το κόστος παραγωγής ενέργειας των προτεινόμενων εφαρμογών υπολογίστηκε συνολικά σε 0,0226 €/kWh και διαπιστώθηκε ότι είναι πολύ οικονομικότερο των συμβατικών καυσίμων.
4. Υπάρχει πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος τόσο λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και λόγω των σημαντικών ποσοτήτων CO₂, που ξεπερνούν τους 8.000 τόνους ετησίως, των οποίων η εκπομπή στην ατμόσφαιρα αποφεύγεται.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αρβανίτης Α., Φυτίκας Μ., Ντότσινα Ε. 1998. Γεωθερμικές Συνθήκες της Περιοχής Θερμών-Νιγρίτας (Λεκάνη Στρυμόνα, Βόρεια Ελλάδα). Δελτίο Ελ. Γεωλ. Ετ., XXXII/4, 229-242.
- Δημόπουλος Γ., Μουντράκης Δ., Βασιλειάδης Δ., Δαφνης Σ., Ζούρος Ν., Κολιαδήμου Κ., Νάτση Χ., Χαριζάνης Γ. 1987. Γεωλογική-Υδρογεωλογική Μελέτη Θερμών Νιγρίτας. Σ.Δ.Κ.Ι.Π.Ε., Θεσσαλονίκη, 59 σ.
- Δ.Ε.Β. (Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων) 2003. Φυσικοχημικοί και Χημικοί παράμετροι καταλληλότητας νερού άρδευσης. Νομαρχία Σερρών.
- Ι.Γ.Μ.Ε. 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50000, Φύλλο Σιτοχώριον. Αθήνα.
- Καλλέργης Γ. 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμος Β', έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Καρυδάκης Γρ. 1983. Μελέτη Γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας στην περιοχή Θερμά-Νιγρίτας. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 47 σ.
- Κολιαδήμου Κ., Γαλανίδης Δ., 1988. Γεωλογική και Γεωυδρολογική – Υδροχημική μελέτη του Γεωθερμικού πεδίου της περιοχής Θερμών Νιγρίτας Σερρών. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου για τα Θερμομεταλλικά Νερά, 7-9 Οκτωβρίου 1988, 133-184.

- Κυριακίδης Δ., Τσόκας Γρ. 1987. Προκαταρκτική γεωηλεκτρική μελέτη Νιγρίτας-Θερμών. Σ.Δ.Κ.Ι.Π.Ε., Θεσσαλονίκη, 15 σ.
- Bartlett D.A. 1996. The fundamentals of heat exchangers. The Indus. Phys., vol. 2, 4, 18-21.
- Fytikas M., Andritsos N., Karydakis G., Kolios N., Mendrinis D., Papachristou M. 2000. Geothermal exploration and development activities in Greece during 1995-1999. Proceedings of World Geothermal Congress 2000, (May 28 - June 10, 2000), Kyushu-Tohoku, Japan, 199-208.
- Karytsas, C., Mendrinis, D. 2003. Nisyros Low Enthalpy Geothermal Energy Utilization. In Final Report of project: "Removal of barriers to the development of geothermal energy in the European Peripheral Islands", GE-ISLEBAR project, Contract No. NNE5-2000-197, DG TREN Accompanying Measures, March 2003.
- Mendrinis D., Karytsas C. 2003a. Country Report for Greece for IEA-GIA 2002 Annual Report. Center for Renewable Energy Sources, Athens.
- Nikita-Martzopoulou C. 2002. Agricultural aspects of geothermal heating in greenhouses. International Summer school on Direct Application of Geothermal Energy, 1-9 Sep. 2002, Thessaloniki, 95-111.

ABSTRACT

STUDY ON THE EXPLOITATION POSSIBILITY OF THE THERMA-NIGRITA GEOTHERMAL FIELD (PREFECTURE OF SERRES)

Birbili M.¹, Christanis K.¹, Labrakis N.² and Karytsas K.³

¹ Section of Earth Materials, Department of Geology, University of Patras, 26500 Rio-Patras, birbili@hotmail.com, christan@upatras.gr

² Section of Applied Geology and Geophysics, Department of Geology, University of Patras, 26500 Rio-Patras, lambraki@upatras.gr

³ Geothermy Section, Center of Renewable Energy Sources, 19009 Pikermi Athens, kkari@cres.gr

The aim of this study is to evaluate the potential of Therma Nigrita low-enthalpy geothermal field and to examine the possibility of exploitation. Six geothermal fluid samples and two cold-water samples were obtained from eight boreholes situated in the Therma field of Nigrita. Field measurements, as well as laboratory determinations using classic and modern methods of analyses were carried out. The temperature of the geothermal fluids ranges from 38,5 up to 62,5°C; the discharge rates of the boreholes range from 40 up to 70 m³/h. These data lead to the conclusion that the field is exploitable. Due to high As and Li contents and in order to avoid environmental impacts, it is essential to reinject the waste geothermal fluids into the geothermal reservoir.

For the exploitation of the geothermal field, the applications of district heating and cooling of a part of Nigrita Municipality using heat pumps, in combination with greenhouse applications, are proposed. In order to save energy and reduce the capital cost, the above applications have to be placed in cascade. The energy production cost, including also the capital amortisation cost, of the above application amounts to 0.0226 €/kWh. The proposed geothermal applications have a significant economic advantage over the use of fossil fuels. Additionally, there is an important environmental benefit from avoiding the emission of severe quantities of CO₂ (>8,000 tons annually), which would be emitted in case of oil use.